

PREDATORI, PREDE E LA TEORIA MATEMATICA DEI GIOCHI

Lilia Capocaccia Orsini (*) e Fioravante Patrone (**)

Una naturalista e un matematico, studioso di teoria dei giochi, si confrontano in una sorta di dialogo sull'eterna partita che, dalla comparsa della vita sulla Terra, si gioca quotidianamente sulle scene del mondo, tra il predatore e la preda.

(Fig.1)

Capocaccia

La prima esigenza che subito si manifesta drammaticamente nella vita di ognuno è quella di nutrirsi... Ma ce n'è un'altra di cui andremo ad occuparci: l'esigenza di non essere mangiati, la paura di essere mangiati. Mangiare per vivere. Non essere mangiati per non morire. Due facce di un eterno problema: quello della sopravvivenza.

Due esigenze apparentemente opposte e al tempo stesso compenstrate in una stessa dinamica, che forniscono continue occasioni di lavoro all'evoluzione, che su di esse (come su infiniti altri spunti forniti dall'ambiente) si inserisce e avanza.

Ogni specie, a saperla guardare, racconta la sua storia, ma al tempo stesso non è che una tappa della sua lunghissima storia. E noi possiamo dire che ogni specie è arrivata ad essere oggi come noi la vediamo, per le battaglie sostenute con tanti fattori ambientali da chi l'ha preceduta, ma anche in grande misura per quelle sostenute all'interno del rapporto predatore-preda, in quella eterna partita in cui spesso si giocano contemporaneamente i due ruoli: la Mantide orchidea malese (fig.2), che si fa fiore per adescare gli insetti, usa questo travestimento anche per difendersi a sua volta da un suo predatore.

E in questo rapporto predatore-preda è il predatore che seleziona la preda (sopravviveranno le lepri dotate fin dalla nascita di livrea più criptica, di maggior velocità nel nascondersi ecc.), ma è anche la preda che seleziona il predatore (saranno i falchi dotati di vista più acuta, di maggior velocità di picchiata che avranno maggior possibilità di nutrirsi, di sopravvivere fino a trasmettere le loro caratteristiche alla discendenza).

Patrone

L'idea che il predatore selezioni la preda è la parte ovvia della storia. Meno immediato è comprendere che anche la preda seleziona il predatore. Implicito in tutto ciò è il concetto di reciprocità, che richiama uno dei punti di vista chiave della Teoria dei Giochi, uno dei contributi decisivi di questa disciplina a livello di "senso comune distillato": in ogni situazione di interazione strategica, in ogni ambito in cui intervengono più di un decisore, occorre tenere presente anche cosa farà l'altro ed in particolare cercare di vedere la situazione anche coi suoi "occhi".

Avendola menzionata, vorrei ricordare che la Teoria dei Giochi si occupa di modellizzare situazioni in cui intervengono più decisori razionali ed intelligenti, il cui complesso delle azioni determinano i risultati finali del processo di interazione. Questa disciplina scientifica, nata come linguaggio formale per l'analisi economica, ha registrato un notevole successo sia nel suo campo fondamentale d'applicazione che in altri contesti, tra cui la biologia ed in particolare lo studio dell'evoluzione.

E' stata citata l'intelligenza dei decisori. Quando noi, come esseri umani, ci troviamo a dover decidere, è opportuno che non ci dimentichiamo che il nostro livello intellettuale, la nostra capacità di analisi delle situazioni, le hanno anche gli altri decisori (anzi, magari ancor più di noi). Si può osservare come questa attitudine, pur così importante, non sia sempre tenuta presente da chi deve assumere delle decisioni: posso ricordare il gatto che viveva in casa mia, Mizar, che quando giocava a nascondino con me pensava di essere nascosto quando non mi vedeva. Il che vuol dire che io non vedevo i suoi occhi, anche se lui lasciava visibile gran parte del corpo... D'altronde, anche i bambini piccoli si "nascondono" coprendosi gli occhi!

La capacità, quindi, di sapersi mettere “nella testa degli altri” è un “plus” molto importante per chi debba prendere delle decisioni (dal grande manager all’allenatore di una squadretta di ragazzini). Ed è anche importante, ad esempio, per chi scrive un articolo pensare non solo a quello che vuol dire, ma anche a cosa siano interessati i potenziali lettori: questo è un requisito importante di una buona divulgazione (oltre a quello, più noto, di usare un linguaggio comprensibile per chi legge).

L’idea fondamentale di reciprocità, di riflessività dell’analisi, resta valida, anche a livelli intellettivi inferiori: se si analizza la pressione selettiva “evidente” che il predatore esercita sulla preda, non ci si può e non ci si deve dimenticare che una pressione selettiva viene esercitata anche dalla preda sul predatore.

Capocaccia

Stiamo impostando il nostro dialogo come avevamo pensato, considerando, cioè, predatore e preda come due giocatori impegnati, magari dall’inizio della vita sulla terra, in una partita.

Ma prima di proseguire in questa direzione vorrei chiederti se la Teoria matematica di giochi ha qualcosa da dire sulle fluttuazioni periodiche delle popolazioni del predatore e della preda, di cui un esempio noto è dato dalla fluttuazione, che potremmo definire storica, tra Lince canadese e Lepre polare in certe zone del Canada, che si è potuta ricostruire grazie ai cacciatori di pellicce, grazie cioè al numero di pelli acquistate dalla Compagnia della Baia di Hudson dal 1850 al 1930 circa. Dopo l’aumento della popolazione della linca, diminuiva quella della lepre. Dopodiché, trovando meno disponibilità di cibo, diminuiva la popolazione della predatrice consentendo quindi la ripresa della popolazione della preda. Questa alternanza di picchi nelle curve delle due popolazioni, con ritmo di 7-9 anni circa, corrisponde assai bene ai modelli matematici di Lotka e Volterra. Ma si può parlare di teoria matematica dei giochi?

Patrone

La mia risposta, in estrema sintesi, è “no”: i modelli di Lotka e Volterra non sono Teoria dei Giochi. Vorrei tuttavia approfittare dell’occasione che mi dà questa domanda per un ragionamento che svilupperò su tre piani diversi.

Comincerò col dare una risposta che sottolinea le consonanze. In effetti, la Teoria dei Giochi si è occupata principalmente di analizzare le situazioni di *equilibrio* sia nelle interazioni fra specie che fra diversi modelli di comportamento interspecifici. Va da sé che una analisi di equilibrio presuppone una qualche idea di dinamica, che in taluni casi è descritta esplicitamente. Abbiamo quindi delle significative analogie, e si potrebbe dire che da questo punto di vista gli approcci classici alla dinamica delle popolazioni e la Teoria dei Giochi offrono visioni significativamente complementari.

Se passiamo ad un altro livello, possiamo però osservare delle differenze molto significative. Affermo infatti che sono diversi i *fondamenti* sottostanti i modelli di Lotka e Volterra e quelli tipici della Teoria dei Giochi, in quanto sono diverse le determinanti della dinamica, dell’evoluzione del sistema. Nel caso della dinamica di Lotka e Volterra, esse sono basate su principi derivanti dalla biologia, da rapporti con l’ambiente (relativi, per esempio, alla disponibilità di cibo), e così via. Nel caso della Teoria dei Giochi, invece, “dietro” alla dinamica sta sempre una assunzione di *razionalità* da parte dei soggetti interagenti, sia essa sofisticata come nel nucleo centrale della Teoria dei Giochi più classica, oppure si situi a un livello più elementare, assimilabile ad una sorta di “azione riflessa”, quando si considerino interazioni fra organismi viventi meno complicati (almeno dal nostro punto di vista) degli esseri umani. Se, a livello di organismi semplici, tende ad appannarsi la divaricazione dei diversi principi posti a fondamento delle leggi dinamiche, rimane comunque tipica della Teoria dei Giochi la ricerca di un principio di *razionalità* (inteso come comportamento ottimizzante, teso a massimizzare ad esempio la “fitness”) da porre a fondamento della dinamica del sistema. Insomma, per quanto edulcorata possa essere, nei modelli della Teoria

dei Giochi l'opzione chiave è di carattere finalistico: il comportamento mira a ottimizzare “qualcosa”, o per lo meno può essere descritto come se mirasse a questa ottimizzazione.

Vi è, però, ancora un terzo livello del discorso, che emerge se ci chiediamo *da dove* provenga la razionalità che viene usata nella Teoria dei Giochi. Quanto detto sopra prefigura una relazione unidirezionale: è un principio di razionalità che individua la dinamica. Ebbene, nel contesto della Teoria dei Giochi applicata all'evoluzione, questo rapporto “da razionalità a dinamica” diventa meno unidirezionale di quanto non sia nei contesti più classici della Teoria dei Giochi: è importante, in effetti, riflettere su come lo stesso principio di razionalità (per esempio la “fitness”) possa dipendere esso stesso dalle interazioni fra individui. Volendo banalizzare, possiamo certo descrivere il comportamento degli individui “come se” volessero massimizzare la loro fitness, ma quale sia la corretta formulazione da usare per la fitness non può non essere influenzata dalla evoluzione complessiva del sistema. Insomma, il principio di razionalità che usiamo è a sua volta frutto della dinamica “passata”, della storia.

Capocaccia

Torniamo dunque alla nostra partita, che si gioca attraverso la storia. Le partite si vincono impiegando strategie. Ne hanno i predatori, ne hanno le prede. Spesso sono strategie acquisite nella conformazione, nella colorazione del corpo, altre volte sono moduli comportamentali ereditari (comportamenti scritti ormai nel DNA) o frutto di apprendimento.

Patrone

Questo aspetto è molto interessante. Osservo come il termine “strategia”, inteso come “piano d'azione”, sia un termine fondamentale in teoria dei giochi: cosa che non dovrebbe sorprendere, dato il ruolo attribuito in genere all'intelligenza dei giocatori. Mi sembra però interessante spostare l'accento dal ruolo dell'intelligenza, del pensiero consapevole, notando come il ventaglio delle possibili scelte sia di fatto molto ristretto, rispetto a quanto potrebbe essere potenzialmente. Come dici tu, pezzi importanti, decisivi, di quelle che a priori erano strategie adottabili sono appunto ormai codificate nel DNA, od anche, più in generale, ad altri livelli (stereotipi, ad esempio). Molte azioni che noi compiamo non solo sono in buona parte “automatiche”, ma comunque si inseriscono all'interno di un insieme di possibilità che è condizionato dalla storia passata.

Vorrei solo richiamare a questo proposito, per la forte analogia, quanto afferma Binmore nel suo tentativo di introdurre una teoria dell'etica “naturale”: egli sottolinea come molte delle decisioni che prendiamo sono effetto di “meccanismi automatici” (siano essi geneticamente indotti, oppure acquisiti dall'esperienza, come frutto dell'interazione con l'ambiente, con modalità di fatto inconse), che costituiscono lo sfondo sul quale poi noi prendiamo le nostre “decisioni” (il che sta a dire, in realtà, le nostre decisioni consapevoli).

DALLA PARTE DEI PREDATORI (fig.3 e 4)

Capocaccia

Ma giochiamoci dunque questa partita, prima dalla parte del predatore, poi dalla parte della preda.

Ci sono predatori piccolissimi che riescono ad attaccare animali grandi o temibili solo se lavorano in *gruppo*. Si tratta di scelte geneticamente indotte o acquisite dall'esperienza. Pensiamo alle formiche, per non parlare dei plasmodi, dei batteri o dei virus. Pensiamo alle cornacchie, che in gruppo possono finire un rapace, loro abituale predatore. Notissima la predazione di gruppo delle orche nei confronti dei cetacei: esse operano in coordinamento straordinario grazie a comunicazioni visive facilitate da vista acutissima associata alla livrea vistosamente bicolore, e grazie ad un vero e proprio biosonar associato invece ad una sensibilità uditiva che, secondo Notarbartolo, è doppia della nostra. E che dire dei barracuda (peraltro sempre più frequenti in Mediterraneo) quando si

trovano in gruppo (fig.5)? O dei piranha, che in gruppo spolpano fino allo scheletro animali anche di grossa taglia in pochi minuti?

Patrone

Hai parlato di batteri. Ricordo, a questo proposito, come alcune delle nostre difese molto aggressive, apparentemente efficaci, hanno avuto l'effetto di rafforzarli di più. Il che mostra come non necessariamente una strategia particolarmente aggressiva sia la migliore. Questo fatto, che si registra a livello di analisi teorica, fa parte di tutta una serie di risultati, i quali mostrano come relazioni che in altri contesti sono ovvie non lo sono più in situazioni di interazione strategica: non è detto che essere più informati sia meglio, né lo è avere un più ampio ventaglio di scelte, e così via.

Capocaccia

Tra i predatori che lavorano da soli su prede impegnative, può essere importante *specializzarsi*.

Grandi specialisti sono i serpenti, che, dovendo supplire alla assenza di zampe conquistata per una scelta di mobilità veloce e strisciante (zampe che sarebbero utilissime per afferrare e trattenere la preda), hanno evoluto una complessa struttura dell'apparato boccale e in genere digerente: grazie all'osso quadrato mobilissimo e alle due metà della mandibola riunite da un legamento estensibile, oltre che ai denti uncinati rivolti all'indietro, riescono ad ingoiare e a far progredire nell'esofago prede molto più grandi del loro diametro. Tra i serpenti i più specializzati sono poi gli avvelenatori, che hanno trasformato le ghiandole salivari in ghiandole velenifere e si sono dotati di zanne scanalate o addirittura canalicolate come aghi di siringa. Tra questi i crotali, specialisti tra gli specialisti, sono addirittura forniti di organi recettori termici per localizzare la preda a sangue caldo. Ma ci sono anche serpenti innocui, come le varie specie del genere *Dasypeltis*, che si sono fatti un mestiere speciale: quello di mangiare le grosse uova di uccello, di cui poi espellono il guscio, dopo averlo rotto grazie alle apofisi ventrali delle prime vertebre, che sporgono all'interno delle vie digerenti (fig. 6)

E, sempre a proposito di uova, esse sono un alimento prelibato, molto energetico e molto ambito come cibo. C'è un rapace, il Capovaccaio, che, anziché dotarsi di strutture particolari, preferisce avere appreso l'uso di uno strumento: una grossa pietra che con il becco scaglia contro l'uovo fino a quando non riesce a romperne il guscio. E, a proposito di strumenti ci sarebbe da scrivere un libro. Basterebbe pensare agli scimpanzé che si preparano appositi bastoncini per prelevare formiche e termiti dai loro nidi, o alla lontra marina, che per rompere il carapace dei granchi, usa una pietra che si batte sul petto, nuotando sul dorso.

Tale è la pressione che la preda (o l'alimentazione in genere) esercita sul predatore da avere determinato *parallelismo adattativo* su base alimentare tra animali lontani tra loro filogeneticamente e geograficamente. Si tratta dei mangiatori di formiche o di termiti (cibo assai ambito perchè fortemente energetico e ampiamente diffuso nei paesi caldi). Ne abbiamo in Australia con l'Echidna, in Africa con Oritteropi e Pangolini, nel Nuovo Mondo con Armadilli e Tamandua, tutti hanno evoluto gli stessi adattamenti: muso allungato, lingua estroflettibile e vischiosa, unghie da scavatore.

Per contro specializzazioni su base alimentare molto differenziate compaiono nello stesso ordine. Prendiamo ad esempio i pipistrelli: difficile immaginare un ordine più omogeneo dal punto di vista dell'organizzazione corporea, tanto che ciascuno di noi ha del pipistrello una immagine analoga. Ebbene essi presentano uno straordinario *irradiamento adattativo* su base alimentare. Abbiamo: forme vegetariane, come le volpi volanti austromalesi; i microlepidotteri della nostra fauna, che sono insettivori e scandagliano le nostre notti con i loro ultrasuoni per localizzare le minuscole prede; i vampiri dell'America tropicale, che sono ematofagi; la *Megaderma lyra* dell'Asia meridionale, che si nutre di uccelli, rane e gechi ed infine il *Noctilio leporinus* del Nuovo Mondo, che, volando rasente l'acqua, ghermisce i pesci con le sue robustissime zampe posteriori.

Ma l'esempio più noto e studiato di irradiazione adattativa è quello offerto dai *fringuelli delle isole Galapagos* detti anche fringuelli di Darwin, troppo noto perché ci si soffermi a lungo. Quando Darwin nel suo viaggio del Beagle approdò alle Galapagos, situate a 600 miglia dalla costa, fu colpito dal fatto che esse, pur essendo molto simili tra loro per le condizioni fisiche e geologiche (essendo tutte di origine vulcanica), presentavano marcate differenze sia nella flora che nella fauna: nelle diverse isole esistevano forme vicarianti. Ciò accadeva per le tartarughe e accadeva per i fringuelli. Questi erano simili per la forma complessiva del corpo, ma diversi per la struttura del becco, che variava a seconda della diversa alimentazione. Da un'unica specie originaria colonizzatrice si erano differenziate su base alimentare le tredici specie di fringuelli che abitano oggi l'Arcipelago.

Ma proprio sotto i nostri occhi sta succedendo qualcosa di nuovo. Uno dei fringuelli, la *Geospiza difficilis*, che viveva sul dorso delle Sule, liberandole dai parassiti che ne infestavano il corpo e nutrendosi di essi (con reciproco vantaggio: si trattava dunque di una simbiosi mutualistica, di un tipo molto frequente del resto; pensiamo soltanto alle bufaghe o agli aironi guardabuoi sul corpo degli erbivori nella savana), ha scoperto una cinquantina di anni fa (ce lo racconta Douglass Morse) che, ledendo il punto di inserimento delle penne giovani, era possibile provocare una fuoruscita di sangue, di cui ha subito appreso a nutrirsi. Così un comportamento di reciproco vantaggio si è trasformato quasi sotto i nostri occhi in un comportamento parassitario. Naturalmente starà per iniziare da parte dell'uccello una difesa attiva, che i ricercatori stanno attendendo. Ma per ora il suo atteggiamento è ancora quello di fiducia, perché non ha ancora selezionato un modulo comportamentale efficace per far fronte all'uccellino vampiro.

Patrone

Questo è un esempio eccellente, anche se improprio, come vedremo dopo, per descrivere cosa sia un ESS (Evolutionary Stable Strategy, ovvero una Strategia Evolutivamente Stabile), il concetto di soluzione introdotto da Maynard Smith e Price per lo studio dei giochi evolutivi che hanno rappresentato forse il più clamoroso successo della Teoria dei Giochi al di fuori del suo campo applicativo d'elezione, ovvero l'economia.

L'esempio classico che si usa fa riferimento a "falco e colomba", da intendersi non come due specie diverse, ma come due prototipi di comportamento (geneticamente predeterminato) all'interno di una singola specie (Powell e Rumsfeld). L'idea cruciale è che un ESS dovrebbe essere una configurazione (una distribuzione di genotipi all'interno di una data specie) che risulta essere stabile rispetto ad "invasioni" da parte di nuovi comportamenti (anch'essi geneticamente predeterminati) che si verificano in piccole proporzioni a seguito di mutazioni.

Ebbene, quanto registrato nella interazione strategica fra Geospize e Sule, anche se improprio, visto che riguarda due specie diverse, dà un'idea di cosa possa significare questa richiesta di stabilità rispetto al presentarsi di un comportamento nuovo. Se potessimo effettivamente applicare a questo contesto l'idea di ESS, avremmo un esempio di una situazione che NON è un ESS, in quanto un comportamento diverso si è intrufolato con successo (si sta espandendo rispetto al comportamento standard). Segno appunto di una instabilità della situazione data.

Anche se va detto che:

- queste considerazioni mie non hanno alcuna pretesa di scientificità. E' solo una analogia, suggestiva
- se abbiamo un po' di pazienza (50 anni potrebbero esser pochi, sulla scala temporale dell'evoluzione), magari potremmo osservare dei "contro-comportamenti" da parte delle Sule che potrebbero "convincere" le Geospiza a ritornare alle antiche sane abitudini

Capocaccia

Abbiamo visto dunque che una scelta premiante poteva essere quella di specializzarsi, acquisendo strutture o comportamenti tali da risolvere il problema di assumere quel tale tipo di

preda. Ma essere legati indissolubilmente a un certo tipo di preda può essere un'arma a doppio taglio. Il *Dasypeltis* senza le sue grosse uova non vive.

Il segreto del successo sta anche e soprattutto ***nella plasticità***, o meglio nell'alta valenza ecologica, che costituisce un passaporto per la colonizzazione degli ambienti più svariati. I ***generalisti conquisteranno il mondo***. Soprattutto quando sono capaci di adattarsi ad ogni tipo di cibo. Lo storno mangia foglie, frutta e ortaggi, piccoli animali e residui alimentari di ogni tipo, ficca il becco in terra come un piccone, poi lo apre, arando il suolo, che poi passa al vaglio. La sua diffusione in Europa e Asia è in aumento e dal secolo scorso si è esteso in Nord America, Australia, Nuova Zelanda.

Elisabeth Vrba ha lavorato come sistematica sulle antilopi africane soprattutto per chiarire le relazioni evolutive tra gnu e impala. Gli gnu e i loro parenti stretti hanno esigenze alimentari molto differenziate e precise, dipendendo, ciascuno di essi, da un numero limitato e definito di piante e dalle riserve d'acqua; sono perciò costretti alle note migrazioni. Gli impala afferiscono ad una sola specie non specializzata dal punto di vista alimentare e possono così spaziare su enormi regioni del Continente Nero, rimanendo sè stessi. Essi resistono meglio all'estinzione rispetto agli "specialisti", che sono costretti al continuo "inseguimento dell'habitat", che mettono "tutte le loro uova ecologiche nello stesso paniere" e sono un bersaglio più facile alla estinzione. Quello che la Vrba ha visto sulle antilopi fossili e viventi, Eldredge lo ha visto sulle trilobiti.

Patrone

Ma perché allora tanta fatica a specializzarsi?

Capocaccia

Si potrebbe rispondere che quello che conta nell'adattamento evolutivo è ciò che funziona "qui e adesso". La selezione naturale, dice George Williams, non può intendersene di futuro. E la specializzazione lì per lì è premiante, però a gioco lungo "chi va piano va sano e va lontano". Lo dimostrano i "fossili viventi", come i Limuli (fig.7), che non hanno esigenze alimentari specifiche, e assomigliano in modo impressionante ai loro antenati, che correvano sui fondali del Paleozoico.

Anche la pressione alimentare, come del resto gli altri fattori ambientali, può dunque aprire la strada a due diverse direzioni:

- 1) la modificazione di strutture e funzioni per utilizzare benissimo un difficile cibo
- 2) la capacità di ampliare i limiti di tolleranza il più possibile

Sono due politiche diverse che si spiegano bene con le teorie evolutive. Qualcosa può dirci la teoria dei giochi?

Patrone

Direi che la Teoria dei Giochi ha senz'altro qualcosa da dire, anzi, molto da dire.

Le affermazioni precedenti trovano un significativo parallelismo con quella parte della Teoria dei Giochi che studia processi di apprendimento. In condizioni di interazione strategica ripetuta, ovverosia quando ad un decisore capita di interagire più volte con uno stesso individuo, c'è spazio per un processo di apprendimento molto importante. I decisori devono tenere conto di quanto è avvenuto prima e cercare di sfruttarlo nella maniera più adeguata possibile.

Di fronte a questi problemi di apprendimento, abbiamo due possibili (meta-)strategie: cercare di trovare la reazione migliore possibile o lasciare spazio alla flessibilità. Questo secondo approccio è molto utile in particolare di fronte a condizioni mutevoli.

In effetti, se penso a tutti i modelli di apprendimento (sia chiaro che mi riferisco all'apprendimento nell'ambito delle interazioni strategiche: quindi mi riferisco al problema di riuscire a trovare quale azione convenga compiere di volta in volta, sulla base delle interazioni precedenti, delle scelte fatte in quel contesto e dei risultati ottenuti) che sono stati studiati recentemente in teoria dei giochi, direi che un aspetto di quello che tu hai chiamato plasticità,

ovverosia il non perseguire l'ottimo realizzato "qui ed ora", ma il lasciare spazio a sperimentazioni, si dimostra essere una strategia vincente, sotto un ampio ventaglio di condizioni, sia individualmente che collettivamente.

Capocaccia

D'altronde, senza pensare a cose troppo complicate, se ho freddo può valere la pena prendermene ancora un po' per uscire a procurarmi la legna per la stufa...

Patrone

Esattamente! E ne approfitto per sottolineare che non è **solo** la Teoria dei Giochi che ha qualcosa da dire a questo proposito. Persino in banali (si fa per dire) problemi di ottimizzazione è noto da tempo che è opportuno lasciare un poco di spazio alla sperimentazione se si vuole ottenere un ottimo globale (e questo vale in particolar modo se si ha un problema che dipende da parametri che possono variare): questa idea è utilizzata da programmi per calcolatore sviluppati proprio per la ricerca di "ottimi" per problemi complessi.

Capocaccia

E a proposito di strategie vediamo quelle relative alla **caccia**. Per ora infatti abbiamo considerato la preda già nelle fauci del predatore. Ma la preda deve essere scovata, raggiunta, ghermita.

Nei felini è frequente la marcia di avvicinamento, che viene condotta strisciando ventre a terra, prima di scattare in un **veloce inseguimento**. Ciò accade nel ghepardo, cui le lunghe zampe, la forte muscolatura, il cinto scapolare mobile, la colonna vertebrale capace di alternare concavità (quando le zampe sono estese) a convessità (quando le zampe sono raccolte) conferiscono il primato del più veloce dei vertebrati terrestri. (fino a 110 -115 km all'ora), tuttavia per tratti assai brevi perché l'apparato cardiorespiratorio non è stato... programmato in modo così straordinario.

Altra strategia, compatibile invece con le forme tozze, è l'**agguato**, per il quale è indispensabile nascondersi, come fa il crotalo ceraste, che se ne sta infossato nella sabbia del deserto, da cui fa sporgere gli occhietti vigili in attesa. Ma l'agguato si può tendere dal cielo, come tanti rapaci (fig. 8), che localizzano la preda dall'alto grazie alla vista acutissima per poi piombarle addosso. Ma i re dell'agguato sono i ragni. Non basterebbe un libro per illustrare le meraviglie della costruzione delle tele (fig. 9), vere opere di raffinato ricamo e provetta ingegneria, dotate di dispositivi di allarme sensibilissimi. E un altro libro andrebbe scritto sulle strategie di agguato dei ragni non tessitori, come il ragno granchio (fig. 10), che attende la sua preda "travestito" da ortensia, nascosto... nella medesima.

Tra le strategie di caccia compare qua e là nella scala zoologica il **movimento a fionda**. E' una fionda la lingua del camaleonte, il collo dell'airone, il collo del serpente, che consentono di ghermire la preda con scatto improvviso, come lo è il getto d'acqua del pesce arciere.

Ma i predatori **bluffano, ingannano, imbrogliano**.

La rana pescatrice, pesce dell'ordine dei Lofiiiformi, attira gli altri pesci con una sorta di esca carnosa, sorretta da un peduncolo ed agitata sopra l'enorme bocca, che si spalanca inghiottendo lo sprovveduto, che non è poi che un... altro predatore. Le rane pescatrici di profondità hanno esche luminose.

La tartaruga azzannatrice (*Macrochelys temminkei*) delle acque dolci americane è un grosso predatore (che può raggiungere un q. di peso) La corazza ricoperta di alghe (esempio di travestimento avventizio) la rende praticamente invisibile. La parte interna delle fauci è scura. Dalla bocca spalancata si protende un' appendice vermiforme della lingua, che diviene rossa quando viene usata come esca. (anche qui la vittima è un altro predatore).

Il Blennide dai denti a sciabola (*Aspidonotus taeniatus*) riesce a strappare lembi di tessuto branchiale a pesci, che si aspettano di avere le proprie branchie ripulite di parassiti e alghe da parte dei pesci pulitori, che sono labridi innocui (*Labroides dimidiatus*) (fig.11). Perché ci riesce? Perché il blennide, grazie alla colorazione azzurra con la fascia nera lungo i fianchi, che lo rende simile al pesce pulitore, trova la sua vittima con l'opercolo sollevato in attesa dei servizi del pesce pulitore.

Se qualcuno fosse scettico sul fatto che sia il rapporto di predazione alla base della evoluzione di questo mimetismo, facciamo presente che diverse razze di pesce pulitore sono copiate da altrettante razze di blennide.

Patrone

Vorrei utilizzare questi esempi per sottolineare due aspetti.

Uno è già stato messo in evidenza fin da subito, ma vorrei riprenderlo. Si tratta della consapevolezza della situazione di interazione strategica. Che qui recepisco notando che, se io sono un predatore, farei bene ad immaginare, ad aspettarmi, che altri possano essere predatori nei miei confronti. O, detto altrimenti, che io possa essere oltre che predatore anche al contempo preda, magari di altre specie. In fondo, non pensare a questo è l'errore che commette il pesce il quale, attirato dall'esca, abbocca all'amo. Mettersi nei panni dell'altro può "fare la differenza", anche se a certi livelli parlare di pensiero consapevole può essere eccessivo.

Quest'ultima annotazione ha a che fare con l'altro aspetto che intendo mettere in luce. Quando, in una situazione di interazione strategica, non sono soddisfatte le condizioni di completa informazione, razionalità ed intelligenza che sono tipiche della Teoria dei Giochi più classica, diventa relevantissima la gestione oculata dell'informazione e dei meccanismi di scambio dell'informazione. Stiamo parlando naturalmente dei segnali!

Possono essere utili, i segnali: i fari dell'auto accesi, oltre a permettermi di vedere meglio, hanno anche un ruolo non trascurabile di segnale (veridico!) nei confronti degli altri automobilisti. In questo caso, non c'è problema: nessuno ha ragione di barare. E' conveniente sia per chi lo manda che per chi lo riceve che il segnale sia veritiero.

Ma, chiaramente, non appena si parla di segnali e questi vengono combinati con l'interazione strategica, emerge immediatamente il loro uso per l'appunto *strategico*. Può essere conveniente mandare un segnale non veridico! Certo non bisogna conoscere la Teoria dei Giochi per capirlo: fin da piccoli impariamo a piangere senza un vero perché, solo per poter attirare l'attenzione della mamma; questo è un classico esempio di inganno (poi bisogna vedere quanto dura, perché l'altro soggetto, in questo caso la mamma, magari prenderà le opportune contromisure). Naturalmente il ruolo della Teoria dei Giochi consiste nell'analisi scientifica di questo problema.

E, a proposito del bluff di cui hai parlato, ricordo che, nel gioco del poker, bluffare vuol dire rilanciare, fare delle puntate significative avendo una "mano" debole. Ovviamente il rilancio è il segnale ingannevole che colui che ha una mano debole manda all'altro giocatore. L'analisi del bluff nel poker, anche quantitativa (occorre un giusto mix fra bugie e verità) e la sua comprensione sono uno dei primi successi della Teoria dei Giochi.

Se vuoi, puoi provare a "giocare" alla pagina web:

<http://www.diptem.unige.it/patrone/divulgazione-pat.htm>

dove c'è un esempio di poker molto semplificato per il quale il calcolatore è stato istruito a bluffare in modo ottimale.

A proposito di segnali, questi sono importanti nel contesto di quelli che si chiamano, nel linguaggio della Teoria dei Giochi, giochi ad informazione incompleta. Può valere la pena ricordare che è di John Harsanyi (premio Nobel per l'economia assieme a John Nash ed a Reinhard Selten) il contributo chiave per poter analizzare questo tipo di giochi.

DALLA PARTE DELLA PREDA

Capocaccia

Ma veniamo all'altra metà del cielo. Mettendoci dalla parte della preda, ci troveremo in un mondo straordinario per le strategie e i segnali. Altro che poker!

Ma andiamo con ordine

Di fronte al predatore, se non si è dotati di corazze, gusci, aculei, capacità di avvolgersi su se stessi, se non si è in grado di rispondere all'aggressione (come fa ad esempio il pesce istrice, che all'occorrenza può gonfiarsi a palla e rendere ancora più offensivi gli aculei che lo rivestono, fig.12), una grande soluzione può essere la *fuga*. Cosa può fare una giraffa nell'aperta savana o una vigogna sugli altipiani andini se non fuggire?

Ma dove fuggono gli animali?

Quando si può... la mamma è sempre la mamma... o un papà, certe volte, (come nel caso del Pinguino imperatore) che ti nasconde sotto il grembiule, oppure una mamma che ti porta in tasca finché sei ragazzino (delle volte insieme al fratellino del successivo parto), come nei canguri, oppure una mamma come la *Tilapia* (pesce della famiglia dei Ciclidi), che ti accoglie nel porto sicuro della sua bocca nei momenti di pericolo. Ma qui ci sarebbe da aprire un bel capitolo sul ruolo delle *cure parentali*, che non è soltanto difesa dalla predazione e che compare ai più svariati livelli della scala zoologica. Un esempio per tutti: il ragno lupo, che si trasporta a lungo la prole sul dorso (fig.13)

Patrone

Dirò ben poco delle cure parentali.

Vorrei solo tracciare un parallelismo fra la Teoria dell'Evoluzione e la Teoria dei Giochi, su un punto significativo.

Le cure parentali sono chiaramente non convenienti nell'immediato per i "parenti". Ebbene, in Teoria dei Giochi c'è addirittura il "folk theorem", che mostra come comportamenti che nell'immediato non sono biologicamente egoistici possono essere la scelta strategica migliore per il lungo periodo, quando l'interazione strategica sia ripetuta un numero sufficiente di volte.

Va però notata una differenza non da poco. Il folk theorem si riferisce a quello che avviene all'individuo singolo. Abbiamo cioè ripetizione di interazione e quindi convenienza di comportamenti "disinteressati" per il singolo. Invece, nelle cure parentali, si ha una ripetizione del gioco attraverso individui di varie generazioni, e quindi c'è una difficoltà in più per spiegare come possa essere premiante avere cura della prole, a rischio della propria incolumità.

Capocaccia

Richard Dawkins ("Il gene egoista") direbbe che è la competizione per il successo riproduttivo alla guida di tutti i sistemi biologici. Io ti direi più semplicemente che i figli ben protetti dai genitori avranno più probabilità di diventare a loro volta genitori, e di trasmettere il loro patrimonio genetico (ivi comprese le cure parentali risultate premianti). Ma a questa interpretazione, siccome i giochi sono sempre complessi, va aggiunto che un certo significato va anche attribuito all'imprinting: scimmie allattate da megabiberon a forma di mamma, scaraventano il loro piccolo nell'angolo più lontano della gabbia quando diventano mamme a loro volta.

Il *gruppo* come strategia di difesa dal predatore (pensiamo alla cova sociale dei pinguini ad es.) può essere un'arma a doppio taglio. Il gruppo rassicura e porta ad una riduzione del rischio individuale. Tuttavia rappresenta un grande richiamo per i predatori: sulle isole dei pinguini le foche arrivano a stuoli.

Le *tane* e i *nidi* sono una difesa straordinaria, sulla quale vengono investite molte energie. I castori cambiano la geografia delle regioni in cui vivono, costruendo dighe spesso imponenti solo perché l'imboccatura della tana sia sempre sotto il livello dell'acqua, e possa così impedire

l'accesso ai predatori terrestri. Ma a me piace ricordare un piccolo esempio sconosciuto. L'americano ratto baratto, preda abituale della volpe pigmea, protegge l'accesso alla sua tana con spine di *Opuntia cholla*, quasi fossero matasse di filo spinato. E mi piace mostrarti questo pesce pagliaccio, il pesciolino Nemo del recente cartone animato, (fig.14) nascosto e superprotetto tra i tentacoli urticanti dell'attinia, dove condurrà la sua compagna, dove verranno deposte le uova, dove nasceranno i piccoli; pare che il rispetto ottenuto dall'attinia non sia dovuto tanto ad una simbiosi mutualistica (il pesce in cambio della protezione, recherebbe cibo all'anemone sedentario), quanto alla capacità del pesciolino di rivestire il suo corpo con il muco rubato alla sua ospite, che non lo considererà più come un estraneo da aggredire. E fa tutto ciò senza che nessuno glielo abbia insegnato.

Dove si nascondono gli animali. Come si può, ma "come si può" entro certi limiti. Perché la meta della fuga, come la tecnica per la costruzione dei *nascondigli*, è determinata da adattamenti filogenetici: attraverso l'evoluzione, attraverso errori e correzioni, attraverso le loro più drammatiche o fortunate esperienze, le varie specie hanno verificato la bontà di certe soluzioni, che sono state così adottate.

Così lo scoiattolo fuggirà sempre verso le chiome degli alberi, l'ippopotamo sparirà sott'acqua, la Raganella dal casco corazzato chiuderà con questo "coperchio" la corolla delle bromeliacee in cui andrà a rifugiarsi, e la *Notaden bennetti*, anfibio del deserto australiano, sparirà come un giocoliere sotto la sabbia.

Ma io mi soffermerei di più su queste strategie ed in genere su quei *segnali veridici o ingannevoli*, che possono più facilmente essere considerati strumenti da mettere in gioco nella partita.

Molti animali non si nascondono, non cercano la tana, stanno invece all'aperto, confidando nel fatto che si confondono con l'ambiente (*camuffamento*). Chi potrebbe scorgere una sogliola (fig. 15) sui fondali sabbiosi?

Altri animali assomigliano a un altro essere vivente o ad un oggetto che sta nel loro ambiente (*travestimento*). Pensiamo agli "insetti stecco", agli "insetti foglia" (fig. 16), o ai pesci ago (fig. 17), così simili alle foglie di posidonia dove trovano rifugio. Ma l'esempio più curioso e insolito ce lo offre il ragno tronchetto (del genere africano *Caerostris*), cacciatore di notte e che tutte le mattine all'alba si mangia la sua tela con le prede che ci sono rimaste intrappolate, e si colloca immobile su un tronco recitando la parte di un tronchetto.

Un'altra strategia consiste nell'assomigliare a un altro essere non desiderabile dal predatore o addirittura temibile (*mimetismo vero*). Tale mimetismo è detto anche *batesiano* da Bates, esploratore inglese, che, due anni dopo la pubblicazione dell'Origine delle Specie, diede alle stampe le sue teorie, in cui sosteneva che le specie appetibili erano divenute sempre più simili alle sgradevoli e, ingannando così i predatori, sopravvivevano in maggior numero, trasmettevano tali caratteri alle generazioni successive, e vincevano così la lotta per l'esistenza. Abbiamo farfalle che copiano altre farfalle: vi sono, ad esempio, specie i cui bruchi si nutrono di piante del genere *Asclepias*, ricche di glicosidi cardiaci tossici per gli uccelli, ed altre che sono eduli, ma essendo del tutto simili a quelle tossiche, non vengono mangiate. Ma ciò che più ci colpisce è il fatto che esistano *mimi* di specie lontane tra loro: abbiamo farfalle notturne, come certe sfingi, che copiano imenotteri, come i bombi, e hanno anche assunto abitudini diurne. Abbiamo ditteri floricoli o coleotteri buprestidi, che copiano le vespe e le api con un abito a righe gialle. Un esempio tra i mammiferi lo troviamo nel Protele, mite ed insettivoro (nonostante appartenga ai carnivori), cibo delizioso per i predatori della savana, che acquisisce impunità perché mima la temibile jena striata. Nonostante pesi 15 kg contro i 60 della jena, sembra grande come lei: le linee nere dei fianchi, che proseguono sulla criniera altissima, sembrano diligentemente copiate dal manto della jena. Questo mimetismo gli consente di farsi vedere allo scoperto, anche da una leonessa in caccia.

Patrone

Aggiungo che una ragione importante per il successo di queste strategie “mimetiche” sta nel fatto che questo tipo di bluff venga raramente “visto” (per usare il linguaggio del poker), altrimenti perderebbe efficacia, durerebbe poco.

Si può ricordare che anche in questo contesto si hanno delle configurazioni di equilibrio. Se sono troppi quelli che bluffano, il trucco non funziona più (o non funziona così bene).

Capocaccia

Giustissimo. Infatti perché il mimetismo batesiano sia efficace è indispensabile che gli individui mimetici siano meno comuni dei loro modelli (come è stato dimostrato dalle numerose esperienze di Lincoln Brower e dei suoi collaboratori), altrimenti si indebolisce il messaggio.

Un'altra strategia è quella di utilizzare la colorazione in senso aggressivo, di avvertimento, per sottolineare la sgradevolezza o la pericolosità di un incontro con loro (*colorazioni aposematiche*). Tra gli anfibi, che hanno secrezioni cutanee tossiche per la maggior parte dei predatori, alcuni, invece di tenersi nascosti o di avere selezionato colorazioni criptiche, hanno colorazioni vivacissime, in cui abbondano le tinte aranciate (fig. 18) come quelle della *Mantella aurantiaca* del Madagascar o l'abbinamento del giallo col nero (come i velenosissimi Dendrobati o la nostra Salamandra comune, boccone assai urticante per le mucose del predatore), abbinamento del resto molto frequente nel mondo animale tra i colori di avvertimento (vedi prima, api, vespe, ecc).

Tali animali hanno evoluto un diverso comportamento di fronte ad un ipotetico predatore. Mentre i criptici tendono a mantenersi immobili per non essere visti, gli aposematici iniziano a muoversi lentamente, ostentando visibilmente la loro livrea. E questo perché? Perché l'associazione dell'intensa esperienza visiva con la sgradevolezza dell'incontro o dell'orrendo assaggio può determinare un rafforzamento nella memoria del predatore e quindi una disincentivazione a ripetere l'esperienza. Avrebbe la funzione della segnalazione di pericolo. Colori di avvertimento sono presenti anche nei vertebrati. Ne sono esempio le moffette americane vistosamente bianche e nere, che in convergenza con le zorille africane, segnalano con la loro livrea il pessimo odore delle ghiandole anali.

Spesso accade che più specie non appetibili (che possono essere affini o molto lontane tra loro) convergano sia nella forma che nel colore. Questo particolare mimetismo che è detto *mimetismo mülleriano* (da Fritz Müller, zoologo tedesco del XIX sec.), dovrebbe servire alle diverse specie ad approfittare in molte del vantaggio della associazione colore-ripugnanza nel predatore. Si tratta di un tema molto complesso, sul quale si sta lavorando molto ora, perché implicherebbe *una coevoluzione*, un coordinamento nella evoluzione di specie diverse.

E poi c'è da dire che a volte (anzi molto spesso) il trucco, per la gioia dei predatori, non funziona, come dimostra l'immagine (fig. 19), che ci presenta un ragno nomade (*Cupiennius salei*) del Brasile, nell'atto di divorare un calabrone con la sua bella segnalazione di pericolo gialla e nera.

Patrone

Tema interessante, e che riprende la problematica del segnale. E, per chiudere, la “reciprocità”: il mandare un chiaro segnale “attento, sono velenoso”, non solo è conveniente per chi lo manda, ma anche per chi lo riceve! Siamo di fronte ad una spirale virtuosa, che ritroviamo nei giochi di coordinamento, nel formarsi delle convenzioni.

Capocaccia

Proseguendo con le strategie, si può *bluffare con falsi occhi*. Macchie ocellari sulle pinne impari di molti pesci (fig. 20) o sulle ali delle farfalle distolgono l'attacco del predatore dai punti più vitali del corpo. Potrebbe sembrare fantasioso che i predatori si facciano ingannare così, se non fosse assai frequente trovare farfalle con la beccata proprio in corrispondenza della macchia ocellata.

Si può *imbrogliare con la coda*. Lo fa il Serpente di gomma, che, come tanti altri suoi colleghi, protegge la testa sotto il corpo acciambellato e solleva la coda a mo' di testa. Lo fanno le lucertole e i gechi, capaci di autoamputarsi la coda, la quale, agitandosi davanti al predatore, lo distrae, consentendo loro di svignarsela a... programmare la sua rigenerazione. Lo fa il ratto canguro del deserto americano, che non può certo permettersi di cedere la coda (che non sarà mai capace di rigenerare), ma al massimo metterà a repentaglio un ciuffo di peli: il fiocco codale, che serve di segnale nei rapporti sociali e che è usato anche come finto bersaglio sventolante di fronte all'attacco da parte di volpi, linci, serpenti.

Si può *imbrogliare con finte minacce* come questo agamide australiano il *Chlamydosaurus kingi*, che, dispiegando la sua mantellina pieghettata, induce a ritenere l'animale molto più grande e, spalancando la bocca, in realtà priva di denti, assume un aspetto ben poco rassicurante (fig. 21).

Patrone

Il tema della minaccia è un tema importante. Anche senza entrare in dettagli, vorrei ricordare che in Teoria dei Giochi la credibilità della minaccia permette di operare una distinzione rilevante: fra l'idea del "semplice" equilibrio di Nash e quella, introdotta da Selten, di equilibrio "perfetto nei sottogiochi". Minacce non credibili possono "spiegare" come alcuni equilibri di Nash non siano perfetti nei sottogiochi.

Capocaccia

Infine ci si può *fingere morto*, come quel serpente innocuo americano detto Muso di porcello (*Heterodon nasicus*), che, quando se la vede brutta, prima bluffa imitando un serpente a sonagli con l'agitare della breve coda barrata di nero al di sopra del suo corpo acciambellato, ma, se il pericolo persiste, si rivolta col ventre all'in su fingendosi morto e accompagna la performance... cadaverica, con l'emissione di odore nauseabondo; o come la Mantide foglia sudamericana (*Acanthops falcata*), che, in tempi non sospetti, se ne sta travestita da foglia (fig. 22), ma di fronte ad un pericolo può esibire un aspetto terrifico (fig. 23) o addirittura fingersi morta (fig. 24).

Tutte le difese di cui abbiamo parlato, sia che si tratti di colorazioni, di strutture, di comportamenti le abbiamo raccontate come fosse il predatore che le ha indotte nella preda. Ma è proprio così? Esaminiamo il caso, del resto notissimo, della geometra della betulla (*Biston betularia*). Questa farfalla, abitualmente preda di uccelli insettivori, presenta una forma con ali chiare ed una con ali scure... Ai lepidotterologi inglesi del XIX secolo l'insetto, che di giorno riposa sui tronchi chiari delle betulle, era noto soprattutto nella forma chiara, mentre gli esemplari melanici (forma carbonaria) si rinvenivano solo saltuariamente nella popolazione. All'inizio del secolo scorso la situazione iniziò a cambiare, divenendo la forma carbonaria molto diffusa nell'Inghilterra settentrionale: nella zona di Manchester solo il 5% apparteneva alla forma chiara. Fu negli anni 50 che l'entomologo Kettlewell spiegò in modo convincente come e perché si era determinato il cambiamento. Sui tronchi di betulla, resi neri dalla fuliggine prodotta dalle nuove industrie, gli individui della varietà carbonaria si camuffavano meglio di quelli chiari e venivano così risparmiati dal predatore, analogamente a quanto in precedenza accadeva alla forma chiara sulle betulle incontaminate.

Il predatore dunque agirebbe come strumento della selezione naturale ovviamente secondo una logica darwiniana (variabilità- selezione- trasmissione dei caratteri).

Si potrebbero peraltro interpretare questi camuffamenti, come le altre strategie che intervengono tra predatore e preda, in una logica neolamarckiana di cooperazione tra organismo e ambiente, di cui oggi molto si parla, e che potremmo capire: pensando che il genoma, oltre ai caratteri che si manifestano all'esterno nelle forme, nei colori, nel comportamento, che caratterizzano il fenotipo (ciò che noi vediamo di ogni creatura), ha una ricchezza nascosta, data da quei geni, che controllano i caratteri recessivi, che non vediamo, ma che possono manifestarsi; pensando che l'informazione che abbiamo sempre creduto (quasi fosse un dogma) andare in una sola direzione (dal gene al soma)

potrebbe non essere a senso unico; pensando che è stato isolato un enzima, la *trascrittasi*, capace di produrre DNA dall'RNA, che è come dire che il citoplasma parla al nucleo, gli dà informazioni su quello che succede di fuori, nell'ambiente, interviene quindi nel messaggio genetico (KLUG, 1993, "Transcription: opening the gateway"); pensando che può esservi un'organizzazione unitaria non frammentata tra citoplasma e nucleo: il sistema epigenetico ereditario EES di Maynard Smith (1990), che avrebbe dimostrato che alcuni caratteri epigenetici, dovuti cioè all'interazione tra proteine (o altre sostanze citoplasmatiche) e i geni possono essere trasmessi ereditariamente; pensando ad esempio che nel batterio *Escherichia coli* determinate situazioni ambientali inciderebbero sulla replicazione del DNA (Cairns 1988), determinando mutazioni orientate in risposta all'ambiente.

Patrone

Ma allora, se possiamo capire tutto questo, non deve più essere considerato un ostacolo insormontabile la barriera tra soma e germe?

Capocaccia

Secondo questa filosofia, no certo.

Patrone

Ma allora che ruolo ha l'individuo nella nostra partita: portatore inconsapevole di un patrimonio ereditario da trasmettere o selettore di caratteri?

Capocaccia

Secondo questa logica collaborerebbe anche alla selezione dei caratteri.

Patrone

Vuoi dire che la selezione naturale, questa grande intuizione, che ci ha offerto una chiave formidabile d'interpretazione, la buttiamo via?

Capocaccia

No certo. Perché anche se non sa inventare, se non sa creare nulla di nuovo, ha comunque un ruolo importante assolutamente determinante nella affermazione e nella diffusione dei nuovi caratteri.

Ma le teorie sono molteplici e il dibattito è sempre aperto e vivacissimo. Non ci sono solo i neodarwinisti e i neolamarckiani, c'è Gould con gli "equilibri punteggiati". Ci sono i fattori che potremmo chiamare storici, le vicende climatiche risalenti all'impatto con gli eventi dei livelli superiori planetario e cosmico. Pensiamo solo alle catastrofi, verificatesi dall'era primaria alla secondaria e dalla secondaria alla terziaria, che hanno cancellato intere stirpi di animali dalla faccia della Terra.

Ecco dunque che delle grandi intuizioni sull'evoluzione nulla si è perduto.

Non ti sembra di vedere riemergere l'immagine di Lamarck, timida e un po' sdrucita, quella un po' debordante dell'autorevole Cuvier, accanto a quella di Darwin con la sua straordinaria intuizione della selezione naturale?...

Perché l'evoluzione - in cui, in un certo senso, si iscrive anche il nostro discorso sul rapporto tra il predatore e la preda - è un fenomeno estremamente complesso, in cui possono avere cittadinanza i fattori costruttivi lamarckiani, operanti nell'interfaccia organismo-ambiente, quelli darwiniani operanti nell'interfaccia popolazione (con la sua variabilità) e ambiente (con la selezione naturale), e quelli storici operanti ai livelli superiori della biosfera... ed altri ancora. Ma anche se questa

ipotesi, che incrocia diverse teorie, sembra quasi appagarci, il mondo scientifico continua a lavorare, a interrogarsi, a discutere su questo tema affascinante e ancora misterioso.

Opere citate

BINMORE, K. – 2003 – “Natural justice”, manoscritto.

CAIRNS J., OVERBARGH J., MILLAR S: - 1988 – “The origin of mutants”, *Nature*, 335 : 142 – 145

DAWKINS, R. – 1994- “Il gene egoista”, Mondadori, Milano

ELDREDGE, N. – 1995 –“ Ripensare Darwin (Il Dibattito alla Tavola Alta dell’Evoluzione)”, Einaudi, Torino

KETTLEWELL, H.B.D. – 1958 – “ A survey of the frequencies of *Biston betularia* and its melanic forms in Great Britain”, *Heredity*, 12 : 51-72

KLUG, A.- 1993 – “Trascription : opening the gateway “, *Nature*, 365 : 486-467

MAYNARD SMITH, J. – 1990 – “Models of a dual inheritance system” , *J.Theor. Biol.*, 143 : 41-53

MAYNARD SMITH, J., e G.A. PRICE - 1973 – “The Logic of Animal Conflict”, *Nature* 246 : 15-18.

VRBA, E.S. – 1984 – “ Evolutionary pattern and process in the sister-group Alcelaphini-Aepycerotini (Mammalia Bovidae)” in “ELDREDGE ,N. and STANLEY,S.M. (a cura di) : *Living fossils*”, Springer, New York”

WILLAMS , G.C. – 1992 – “Natural selection, domains, levels and application”, Oxford University Press, New York

(*) Lilia Capocaccia Orsini, presidente dell’Associazione “Amici dell’Acquario” di Genova , già direttore del Museo Civico di Storia Naturale “G. Doria” di Genova..

(**) Fioravante Patrone, ordinario di Teoria dei Giochi presso la Facoltà di Scienze MM. FF. NN. (ora presso la Facoltà di Ingegneria) dell’Università di Genova.